

Obere Cavagliascobrücke: der Neubau

Autor(en): **Feusi, Erwin / Dahmen, Heinz / Graf, Ernst**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **109 (1991)**

Heft 32

PDF erstellt am: **19.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-85990>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Obere Cavagliascobrücke

Der Neubau

Die Berninabahn quert zwischen Ospizio Bernina und Poschiavo einige geologisch-geotechnisch schwierige Zonen. Im Kriechgebiet von Cavagliasco, wenig oberhalb von Poschiavo, hat sich im Laufe von 80 Jahren die dortige Bogenbrücke derart stark deformiert, dass sie im Jahre 1989 durch einen Neubau in Stahl-Verbundbauweise ersetzt wurde.

Ausgangslage

Vorgeschichte

Die Berninabahn, die im Jahre 1910 das letzte Teilstück von St. Moritz nach Tirano in Betrieb nahm, war ursprünglich nur für eine Betriebsdauer während der Sommerzeit vorgesehen. Die rasante Verkehrsentwicklung zwang die Bahnverwaltung jedoch schon nach zwei Jahren, den Betrieb durchgehend aufrecht zu erhalten. So wie die Offenhaltung der ohne Scheiteltunnel über den 2253 m hohen Berninapass führenden Bahn enormer Anstrengungen bedarf, so hat die Berninabahn ebenfalls mit gewaltigen Naturkräften das ganze Jahr über zu kämpfen. Neben extremen Winterverhältnissen, Hochwassergefahren, Steinschlägen und orkanartigen Stürmen auf dem Hospiz sind grossflächige Hangbewegungen auf der Südseite zu verzeichnen.

Ein Beispiel dafür ist die oberhalb Poschiavo gelegene, den Cavagliascobach überspannende obere Cavagliascobrücke, Bilder 1 und 2. Der ganze Hang der rechten Seite des Cavagliascobaches bis zum Val Varuna, der im Jahre 1987 bei den schweren Unwettern Verwüstung und Chaos verursachende Bergbach, liegt in einer Kriechzone, währenddem die linke Hangseite des Cavagliascobaches vollständig ruhig ist.

Die Hangbewegungen wurden vorerst im Gewölbe des kurzen Tunnels vor der Brücke erkannt. Im Jahre 1971 begann man mit Präzisionsmessungen, Grösse und Richtung der Bewegung genau zu erfassen.

Im Jahre 1968 war man gezwungen, in einer Blitzaktion den 33 m langen Tunnel wegen akuter Einsturzgefahr sofort abzubrechen und hangseits an dessen Stelle eine 48 m lange und 4-12 m hohe Ankermauer zu erstellen. Der durchgehende Bahnbetrieb musste dabei für 62 Tage stillgelegt werden.

Sorgenvoll wurde in der Folge die sich unter dem rechtsseitigen Hangdruck

immer mehr nach oben wölbende Bogenbrücke beobachtet, währenddem die Präzisionsmessungen immer das ungefähr gleiche jährliche Verschiebungsmass von zwischen 1 und 2 cm der talwärts gerichteten Bewegung ergaben.

Die im Bogenscheitel aufgetretenen Vertikalrisse vergrösserten sich aber schnell und zogen sich schliesslich über $\frac{3}{4}$ des 1 m starken Gewölberinges durch!

Dieser gefährliche Zustand musste raschmöglichst behoben werden. Eine Unterstützung des Bogens im 25 m tiefen Tobel hat sich als zu zeitraubend, zu kostenintensiv und technisch unbefriedigend herausgestellt. Wir entschlossen uns, über der 26 m langen Cavagliascobrücke eine den Bogen entlastende Hilfsbrücke einzubauen, welche uns freundlicherweise von den SBB zur Verfügung gestellt wurde. Der Trans-

Verfasser dieses Beitrages:

Erwin Feusi, dipl. Bauing., Sektionsingenieur Rhätische Bahn
 Heinz Dahmen, dipl. Bauing., c/o Lenatti AG, Bever
 Ernst Graf, dipl. Bauing., ZWAG AG, Döttingen
 Fredi Schneller, dipl. Bauing., Daniel Widmer, dipl. Bauing., Dino Menghini, dipl. Bauing., Ingenieurbüro Edy Toscano AG, Pontresina/Zürich

port der 60 t schweren, 1,05 m hohen und 29 m langen Stahlhilfsbrücke erfolgte ab Pontresina in einer Spezialfahrt, was angesichts der engen Tunnels mit Radien bis 45 m allerhöchste Präzisionsarbeit bedeutete. Ein volles Versenken der 4 Träger im ausgebaggerten Brückentrog war zufolge fehlender Höhe im Brückenscheitel nicht möglich. Das Längenprofil des Gleises musste deshalb bis zu einer Steigung von 80‰ angehoben werden. Den Einschub der Hilfsbrücke zeigt Bild 3. Die Bahnstrecke Bernina Ospizio-Poschiavo musste dazu für $1\frac{1}{2}$ Tage gesperrt bleiben. Der Verkehr wurde mit Postautos aufrechterhalten.

Die alte obere Cavagliascobrücke

Innerhalb der verfloßenen 80 Jahre hat sich das bergseitige Bogenwiderlager

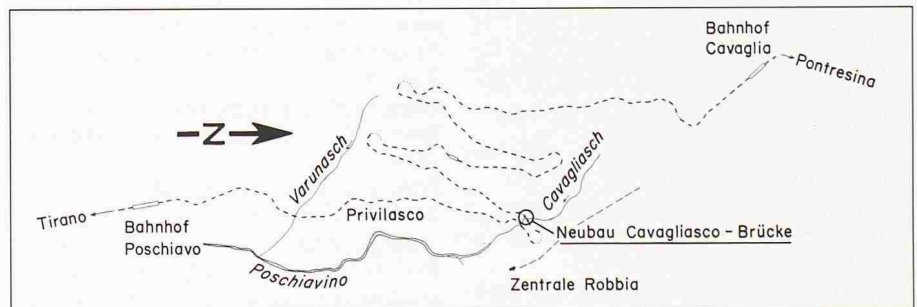


Bild 1. Gesamtsituation

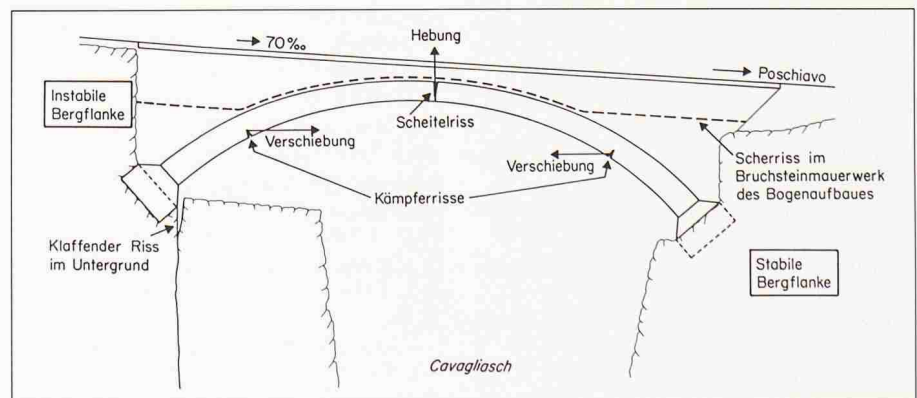


Bild 2. Längsschnitt alte obere Cavagliascobrücke

der Brücke um 25 cm quer zur Brückenaxe und um denselben Betrag in der Brückenaxe selbst bewegt. Als Folge davon hat sich der Bogenscheitel um ca. 25 cm angehoben, Scheitel und Bogenwiderlager sind angerissen, der ursprünglich eingespannte Bogen hat sich selbständig in einen Dreigelenkbogen umgewandelt, Bild 2.

Dem Schichtenmauerwerk des Bogens wurden nach damaligen Normen und Berechnungen eine Randspannung von $\sigma = 25 \text{ kg/cm}^2$ zugemutet. Die rechnerische Nachprüfung des Zustandes im Jahre 1978 ergab unter Berücksichtigung der enormen Verformungen im ungünstigsten Falle eine Randspannung von $\sigma = 185 \text{ kg/cm}^2$. Das beängstigende Resultat veranlasste die Bahnverwaltung, sofort ein Provisorium mittels der erwähnten Stahlhilfsbrücke einzurichten. Dadurch konnten die Verkehrslasten vom Bogenscheitel ferngehalten werden. Längerfristige taugliche Verstärkungslösungen am Bogen scheiterten an den anhaltenden Deformationen und an den der Bahn nicht mehr zumutbaren Steigungsverhältnissen. Sie betragen talseits des Bogenscheitels im Jahre 1987 bereits 73%.

In dieser Situation wurde eine Neukonstruktion unausweichlich. Unter Berücksichtigung der prekären Untergrundverhältnisse und in Beachtung der anhaltenden Verschiebungen sowie der schwierigen Topographie und engen Baustellenverhältnisse fiel die Wahl auf einen Stahlverbundträger der Spannweite $L = 55 \text{ m}$. Dieser Träger überspannt das Cavagliascotobel in einer einzigen Spannweite. Das obere Widerlager im Kriechhang ist aus Gründen der Standfestigkeit soweit wie möglich von der steilen Hangschulter weggerückt worden.

Neubauprojekt

Zur Geologie/Geotechnik/ Hydrologie des Cavagliascobachanges

Während das linke Ufer des Cavagliascobaches einen stabilen Felssockel bildet, ist der rechte Uferbereich bis auf die Bachsohle versackt. Die Mächtigkeit dieser Felsackung nimmt in Richtung Poschiavo zu, sie reicht nach den neueren Feststellungen bis über das benachbarte Val Varuna hinaus. Der Fels weist im Bereich der Sackungsmasse bewegungsbedingt neben der Feinschichtung eine ausgeprägte Feinklüftung auf. Mit Ausnahme der steilen Bachflanken, wo der seitliche Halt fehlt, ist das bruchsteinartige Felsgefüge trotz der bisherigen Sackungsbewegungen von vermutlich ca. 200 m seit der letz-



Bild 3. Einschub der Hilfsbrücke

ten Eiszeit noch intakt. Es sind zwar Bewegungen an der Oberfläche festzustellen, doch scheinen die Bewegungen der ganzen Sackungsmasse im wesentlichen «en bloc» auf der unversackten Felsunterlage auf Bachniveau zu erfolgen. Die Sackungsmasse ist durchlässig, ein eigentlicher Hangwasserspiegel kann sich nicht aufbauen. Die Drainierung der Sackungsmasse erfolgt über einzelne markant durchlässige Hangzonen. Eine Stabilitätsverminderung der Sackungsmasse durch Hangwasser ist somit nicht gegeben.

Sämtliche Bahnanlagen im gesamten Kriechgebiet unterliegen den genannten Kriechbewegungen. Für die offene Strecke hat das bisher kaum nachteilige Folgen gehabt. Solche zeigen sich an Bauwerken, die entweder im Bereich der unterschiedlichen Bewegungen fundiert sind, wie die obere Cavagliascobrücke, oder auch bei welchen die oberflächennahen Kriechraten 2-3 cm pro Jahr betragen, wie beim bereits erwähnten kurzen Tunnel.

Zufolge der grossen Ausdehnung der Kriechmasse nach Süden war eine ursprünglich erwogene Linienführung in den Hang südlich des Varunatales oberhalb von Poschiavo keine Alternative zum gewählten Neubau der oberen Cavagliascobrücke.

Die Kriechraten des Hanges sind ungleich. So bewegt sich das bergseitige Widerlager der alten oberen Cavagliascobrücke weniger stark als die direkt anschliessende bergseitige Stützmauer. Dadurch wurde das Lichtraumprofil im Bereich dieser Mauer zunehmend eingeengt.

Hauptziel beim Entwurf der neuen Cavagliascobrücke war die Abstimmung des Brückenprojektes auf die geologi-

schen und übrigen einschränkenden Randbedingungen, d.h.

- Die Bewegungen des bergseitigen Kriechhanges dürfen keine Schäden am neuen Bauwerk verursachen
- Unabhängige Verschiebe- und Korrekturmöglichkeiten für spätere Korrekturen an der Linienführung der Berninalbahn sind vorzusehen
- Beim bergseitigen Auflager ist die Linienführung so zu korrigieren, dass die sich mit dem Kriechhang mitbewegende Stützmauer das Lichtraumprofil der Bahn nicht bedroht bzw. künftige Sicherungsarbeiten möglich sind
- Kurze zur Verfügung stehende Bauzeit
- Die Baustelle ist nur per Bahn erreichbar
- Der Verkehr der Berninalinie ist besonders während den verkehrsintensiven Sommermonaten jederzeit aufrecht zu erhalten
- Die Berninalinie fährt mit Gleichstrom, somit muss die Brücke gegen Kriechströme und allenfalls daraus resultierende Korrosionsangriffe geschützt werden.

Projektbeschreibung

Das Variantenstudium führte zur Lösung gemäss Bildern 4 und 5. Die Linienführung der bestehenden Berninalbahn wird auf einer Strecke von 180 m neu trassiert. Die bestehenden engen Kurvenradien werden teilweise gestreckt, so dass die neue Brücke in einem Abstand von ca. 8-12 m talseits der bestehenden Brücke zu liegen kommt. Für die neue Brücke eignet sich eine Verbundkonstruktion mit zwei Stahlträgern im Schutze einer Betonfahrbahnplatte. Sie ist als einfacher Bal-

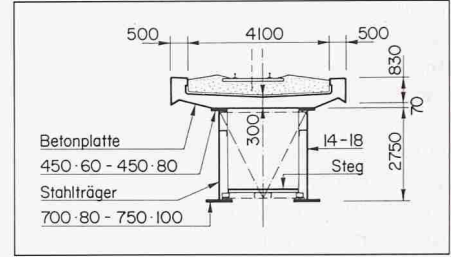
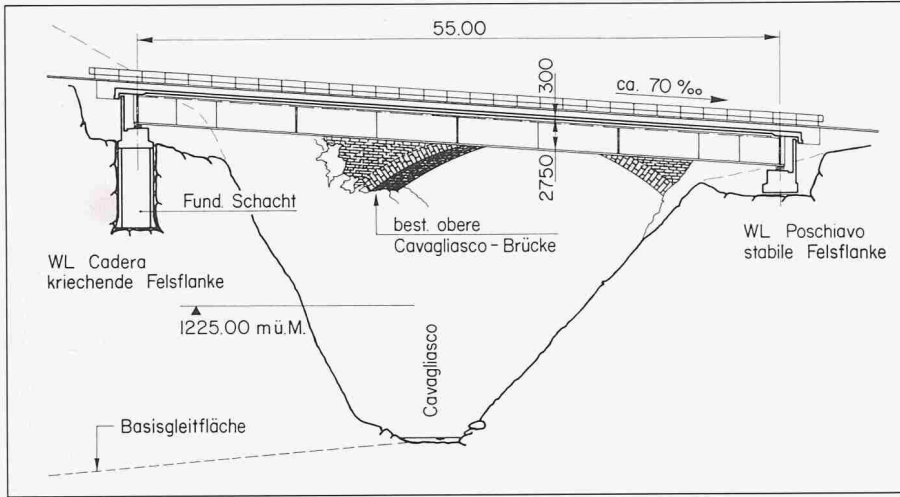


Bild 5. Querschnitt der neuen Brücke

Bild 4. Längsschnitt der neuen Brücke

ken gelagert. Mit einer gewählten Spannweite von 55 m kann das bergseitige Lager vom erosionsgefährdeten Tobelrand zurückgesetzt werden. Die alte Brücke wird an ihrem Standort belassen. Der Bogen übt auf den bergseitigen Hang eine stabilisierende Wirkung aus. Er wird mittels einer Betonplatte vor Verwitterung geschützt.

Als Belastungsannahmen dienen die Angaben der SIA-Norm 160/1970 unter Berücksichtigung der SBB-Richtlinien betr. Entgleisungslasten. Die beiden Hauptträger aus Stahl Fe 510 sind 2,75 m hoch. Das entspricht $\frac{1}{20}$ der Spannweite. Die verwendeten Blechstärken sind aus Bild 5 ersichtlich. Die Träger sind alle ca. 3,50 m vertikal ausgesteift. Eine durchgehende Aussteifungsrippe befindet sich auf der Innenseite des Trägers im Bereich des gedrückten Stegteiles. 3 Feldquerträger in den Viertelpunkten verbinden die beiden Hauptträger. Die Endquerträger sind rahmenartige Endscheiben. Der zweistegige Verbundbalken besitzt eine geringe Torsionssteifigkeit. Er kann sowohl Setzungen wie Verdrehungen des bergseitigen Auflagers weitgehend mit-

machen. Für spätere Korrekturen sind allerdings Pressstellen vorgesehen, die ein seitliches Rückverschieben der Brücke und deren Anheben ermöglichen.

Die Fahrbahnplatte in Stahlbeton wurde bewusst breiter gehalten, als es das Lichtraumprofil der Berninabahn erfordert. Ebenso wurde eine rechnerische Schotterstärke von 45 cm anstelle von nur 35 cm berücksichtigt. Damit können erste Korrekturen an den Gleisen sowohl vertikal wie horizontal durch den Bahndienst selbst durchgeführt werden. Erst die späteren Korrekturen erfolgen an den Lagern der Brücke. Die 35 cm starke Fahrbahnverbundplatte ist schlaff armiert. Die volle Verdübelung mit den Stahlhauptträgern wird mittels Kopfbolzendübeln sichergestellt. Eine Flüssigkunststoffisolation schützt den Stahlbeton vor Durchnäsung. Die Lagerung der Brücke ist notwendigerweise statisch bestimmt, mit einem festen Lager beim talseitigen Auflager und einem längsgeführten Lager beim bergseitigen Auflager der Brücke. Im Hinblick auf die künftigen Deformationen des Hanges und damit

notwendigen Korrekturen an den bergseitigen Lagern wurden deren untere Lagerplatten zwecks Querverschubes um 30 cm verbreitert. Die Verlängerung der oberen Lagerplatten ermöglichen zusätzliche Längsbewegungen von 30 cm. Futterplatten erlauben die Korrektur von Höhendifferenzen und Verkippungen der Brücke.

Obwohl das bergseitige Auflager von der Hangschulter weggerückt wurde, schien eine Schachtfundation ratsam. Damit werden die vertikalen Brückenlasten analog einer Pfahlfundation tieferen Bodenschichten übergeben, ohne die Hangstabilität zu beeinträchtigen. Die vorgesehenen Deformationswege werden durch einen Deformationsabstand zwischen der Widerlagerrückwand und dem Brückenträger ermöglicht. Das Widerlager kann sich im Schutze der auskragenden Fahrbahnplatte unter den Träger schieben. Gleichzeitig wurde durch die analoge Ausbildung beim talseitigen Widerlager die Möglichkeit geschaffen, die Brücke einmal um 50 cm talseits zu verschieben, so dass in Längsrichtung total 80 cm Deformationen aufgenommen werden können. Bei der Ausbildung der Widerlager wurde auf eine gute Begehbarkeit aller Teile geachtet.

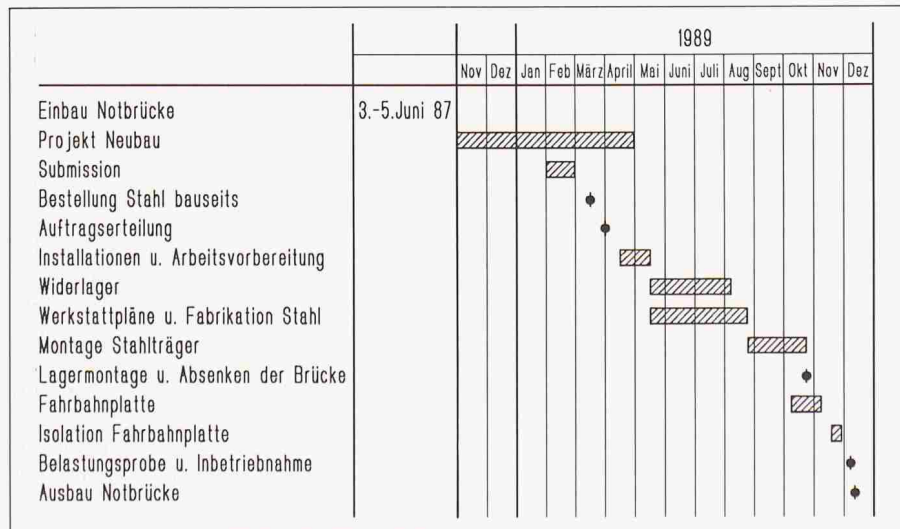


Bild 6. Projektierungs- und Bauprogramm

Belastungen

Zusammen mit der offiziellen Inbetriebnahme der Brücke wurde am 6. Dezember 1989 die Belastungsprobe unter Aufsicht des Bundesamtes für Verkehr, dem BAV, durchgeführt. Es wurden drei Lokomotiven der Berninalinie von je 48,1 t Dienstgewicht zu einem Sonderzug gekoppelt. Die Vorberechnungen, durchgeführt mit einem E-Modul von $35 \times 10 \text{ N/mm}^2$ des Betons, führten zu Durchbiegungen von 15 bzw. 20 mm in Feldmitte des Trägers. Gemessen wurden 18 bzw. 21 mm. Die Unterschiede in den Durchbiegungen des berg- und talseitigen Hauptträgers sind durch die exzentrischen Ver-

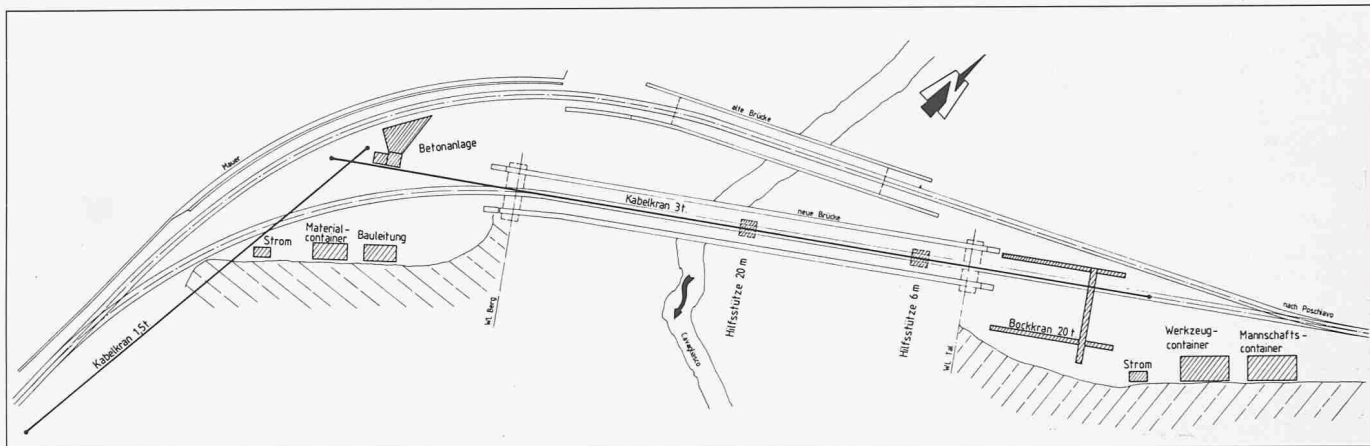


Bild 7. Installationen

kehrslasten bedingt. Bild 10 zeigt die neue Brücke nach der Inbetriebnahme.

Ausführung

Bauprogramm

Die zur Verfügung stehende Bauzeit betrug 7½ Monate, beginnend Mitte April 1989, endend mit der Inbetriebnahme der Brücke anfangs Dezember 1989, vgl. auch Bild 6. Die Stahlbestellung vor der Arbeitsvergabe ab deutschem Werklager durch die Bauherrschaft brachte eine wesentliche Zeitersparnis. Der Zusammenschluss von Baumeister

und Stahlbauer zur ARGE Cavagliasco bereits im Offertstadium hat sich im Hinblick auf die Ausführung des Bauwerkes bestens bewährt.

Erschliessung und Installationen

Die Baustelle war nur mittels Bahn oder in einem halbstündigen Fussmarsch ab Privilasco erreichbar. Sämtliche Materialzu- und -abtransporte erfolgten entsprechend per Bahn. Der Helikoptertransport erwies sich als unwirtschaftlich.

Infolge der extremen Hanglage waren die Platzverhältnisse sehr eng. Der talseitige Montageplatz für die Vorberei-

tung der Stahlträger war nur ca. 8×25 m gross. Er ist zur Zeit des Bahnbaues im Jahre 1908 als Aushubdeponie angelegt worden. Die Länge der Baustelle, innerhalb welcher die neue Brücke, das neue Bahntrasse und am oberen Ende eine neue Stützkonstruktion zu errichten waren, betrug ganze 170 m. Die in Betrieb stehende Berninabahn bildete eine weitere erschwerende Komponente bei der Bauabwicklung. Entscheidend für das einwandfreie Funktionieren der Baustelle und das Einhalten des Bauprogrammes waren die Installationen, Bild 7.

Mit den beiden parallel zum Bahntrasse in den Axen der neuen Brücke und der

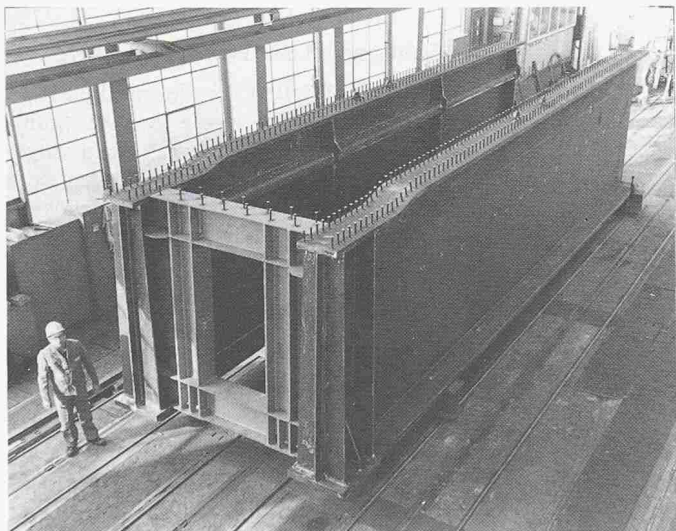


Bild 8. Werksmontage eines Auflagerschusses

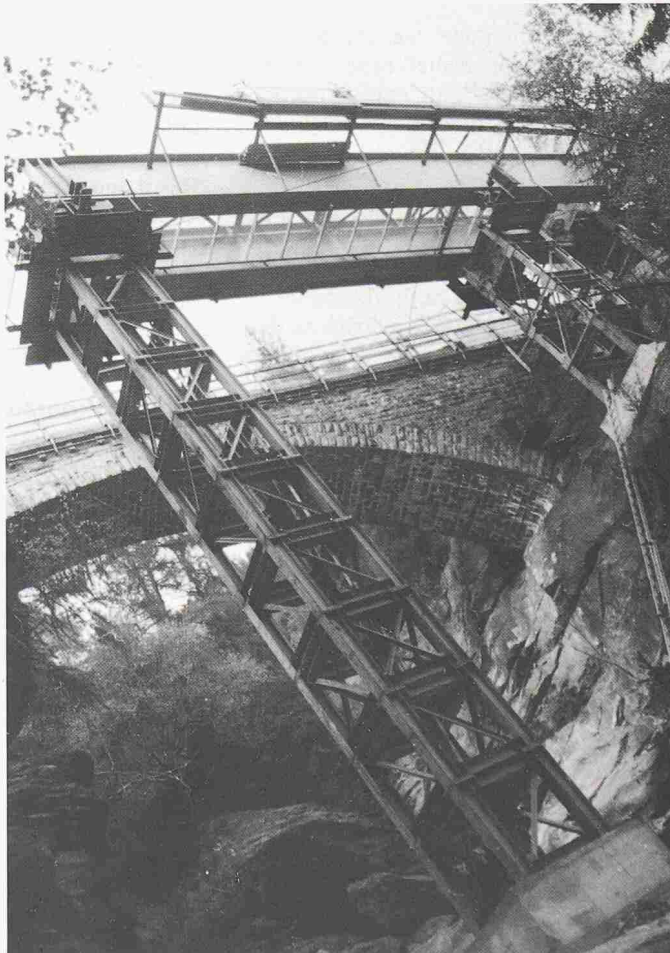
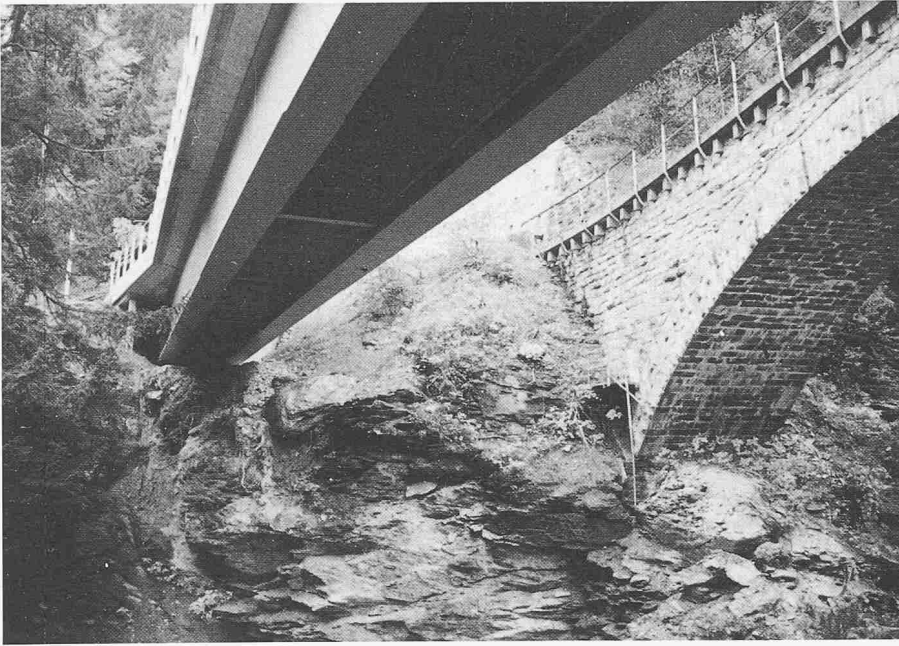


Bild 9. Stahlträger der neuen Brücke bis zur zweiten Hilfsstütze eingeschoben



Brückendaten

Länge	55 m
Breite	5,10 m
Hauptträgerhöhe	2,75 m
Stahlgewicht	150 t
Betonkubatur, inkl. Auflagerkonstruktionen	590 m ³
Armierungen	46 t
Erdbewegungen	2700 m ³
Bauzeit	7½ Monate

Bild 10. Alte und neue obere Cavagliascobrücke

neuen Stützkonstruktion installierten Kabelkrane von 3 und 1,5 t Tragkraft konnten sämtliche Baumaterialien wie Aushub, Schalungen, Armierungen, Beton usw. problemlos an die einzelnen Bestimmungsorte innerhalb der Baustelle transportiert werden. Die RhB erstellte ca. 100 m unterhalb der alten oberen Cavagliascobrücke eine Weiche mit anschliessendem Stumpengeleise bis vor das untere Auflager der neuen Brücke.

Die Ortsbetonanlage lag im Schnittpunkt der beiden Kabelkrane. Sie verarbeitete die per Bahn antransportierten Zuschlagsstoffe für die verschiedenen Betonsorten BN, BH und BS.

Fertigung der Stahlkonstruktion und Transport

Die Herstellung des Stahlüberbaues in der Werkstatt erfolgte synchron zu den Erd- und Betonarbeiten des Unterbaues. Nebst Verbänden, Laufsteg und Schalungsträgern für die Fahrbahnplatte in Stahlbeton waren insbesondere 10 Hauptträger-Schüsse von max. 11 m Länge und einem max. Gewicht von 16 t herzustellen. Durch partielle Werksmontagen wurde das Zusammenpassen der Schweisstöße und die Geometrie der Brücke für die Baustelle sichergestellt, Bild 8.

Per SBB gelangten die Träger von Döttingen nach Landquart, dann paarweise

auf die RhB-Wagen über Chur-Samedan auf die Station Poschiavo und in geeigneten Zugspausen auf die Baustelle.

Montage

Über dem Stumpengeleise wurde ein 20-t-Bockkran installiert. Er erlaubte den zügigen Ablad und die exakte Positionierung der Träger hinter dem unteren Auflager der neuen Brücke. Der Kabelkran ermöglichte die Erstellung der beiden Montage-Hilfsstützen und deren Fundamente im bis 25 m tiefen Tobel des Cavagliascobaches.

Das knappe Platzangebot auf der Baustelle erforderte das Einschieben der Stahlbrücke im Taktschiebverfahren. Neben den Hilfsstützen waren dazu ein Vorbauschubel und Gegengewichte erforderlich. Jeweils nach dem Anschweissen der folgenden 2 Hauptträgererteile konnte die ganze Konstruktion um weitere 11 m über dem Abgrund vorgeschoben werden, Bild 9.

Qualitätskontrollen und Korrosionsschutz

Alle Schweissnähte wurden zu 100% mit Ultraschall geprüft. Der stärkste zu schweisende Querschnitt war der Unterflansch des Mittelschusses mit 100×700 mm. Gemäss dem firmaeigenen SQS-Zertifikat Stufe A wurden Herkunft und Qualität eines jeden Stahlteiles dokumentiert und kontrolliert, dass sämtliche Schweissnahtprü-

fungen gemäss den Spezifikationen ausgeführt wurden.

Im Werk wurde die gesamte Stahlkonstruktion sandgestrahlt und mit 2 Grundanstrichen aus 2-Komponenten-Zinkstaubfarbe behandelt. Nach der Verkehrsübergabe erhielten die Stahlteile im Frühjahr 1990 noch 2 Deckanstriche aus Eisenglimmerfarbe, wobei ein Anstrich auf Epoxidharzbasis, ein Anstrich auf Polyurethanbasis bestand.

Lehrgerüst der Fahrbahnplatte

Für das Erstellen der Verbundplatte in Ortsbeton wurden die beiden Stahlhauptträger verwendet. Aussen angeschraubte Konsolträger trugen die Schalung der auskragenden Brückenplatte und einen provisorischen Dienststeg.

Isolation gegen Kriechströme

Die besonderen Korrosionsschutzmassnahmen umfassen:

- Regelmässige Verschweissung der Armierungen der Fahrbahnplatte sowie der Endauflager.
- Isolation der unteren Brückenlagerplatten
- Elektrische Isolation der Felsnägel inkl. deren Platten.

Die Notwendigkeit des Einbaues eines Überspannungsschutzes wird nächstes Frühjahr geprüft.